УДК 621.91:658.512+621.91:004.8

В.В. ФРОЛОВ канд. техн. наук., доц., НТУ «ХПИ», Харьков.

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В статье рассматривается подход к расчету технологических размерных цепей, который основан на совместном использовании генетического алгоритма и искусственной нейронной сети. Искусственная нейронная сеть используется для моделирования связанных технологических размерных цепей. Применение нейронной сети позволяет найти решение при самых неудачных сочетаниях точности размеров. Этот подход дает возможность оценить правильность маршрута обработки или подобрать допуска звеньев размерной цепи.
Ключевые слова: генетический алгоритм, нейронная сеть, размер, размерная цепь, технологическая операция

In a paper the approach to technological dimensional chains calculation which is grounded on sharing of genetic algorithm and a neural network is considered. The neural network is used for simulation of the linked technological dimensional chains. Application of a neural network allows discovering the decision at the most unsuccessful combinations of exactitude of the dimensions. This approach gives the chance to evaluate correctness of machining plan or to pick up the tolerance of links of a dimensional chain.
Keywords: genetic algorithm, neural network, dimension, dimensional chain, production operation

У статті розглядається підхід до розрахунку технологічних розмірних ланцюгів, що заснований на спільному використанні генетичного алгоритму та штучній нейронній мережі. Штучна нейронна мережа використовується для моделювання зв'язаних технологічних розмірних ланцюгів. Застосування нейронної мережі дозволяє знайти рішення при самих невдалих сполученнях точності розмірів. Цей підхід дає можливість оцінити правильність маршруту обробки або підібрати допуску ланок розмірного ланцюга.
Ключові слова: генетичний алгоритм, нейронна мережа, розмір, розмірний ланцюг, технологічна операція

Технологические размерные расчеты выполняются на связанных размерных цепях, где один размер входит в несколько размерных цепей, описывающих размерные связи отдельных технологических операций. Основной проблемой при проектном расчете связанных размерных цепей является подбор допусков звена таким образом, чтобы они удовлетворяли всем размерным цепям, где присутствует данное звено. Решают данную задачу последовательным расчётом всех размерных цепей [1]. Данный подход часто приводит к тупиковым ситуациям, когда невозможно при заданном технологическом маршруте обработки детали получить точность размеров заданных чертежом, причём, чем в большее количество размерных цепей входит размер, тем сложнее найти разумное решение таким способом. Решение данной проблемы видится в использовании концепции мягких вычислений.

Сущность мягких вычислений состоит в том, что в отличие от традиционных, жестких вычислений, они нацелены на приспособление ко всеобъемлющей неточности реального мира. Руководящим принципом мягких вычислений является: «терпимость к неточности, неопределенности и частичной

истинности для достижения удобства манипулирования, робастности, низкой стоимости решения и лучшего согласия с реальностью».[2] Концепция мягких вычислений объединяет в себе нечеткую логику, искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы (ГА) и вероятностные вычисления. Расчет размерных цепей на основе ИНС предлагался автором в работе [3], а схема использования гибридного ГА для расчета размерных цепей – в работе [4]. Цель данной статьи – практическая реализация расчетов технологических размерных цепей на основе сочетания ГА и ИНС.

Рассмотрим особенности преобразования размерной цепи на примере обработки торцов ступенчатого валика. На рисунке 1 изображена модель валика, где черным выделены минимальные припуски на обработку торцов.

По нормативам, для такой точности осевых размеров необходимо однократное точение каждого торца валика. Максимальная величина припусков на каждом переходе и значения межоперационных размеров будут определяться маршрутом обработки. Для анализа маршрута обработки строим классическую размерную схему технологического процесса обработки торцов (см. рис. 2).

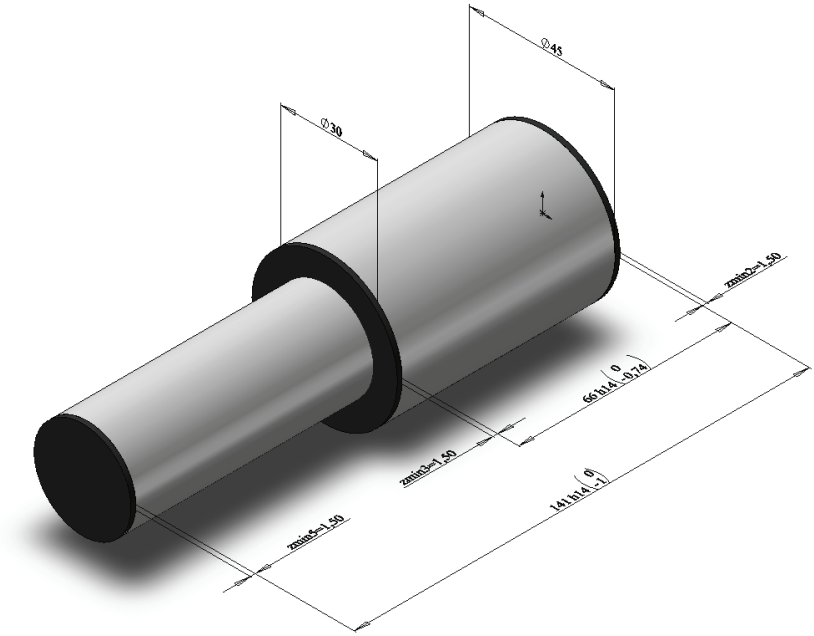

Рис. 1. Пространственная модель ступенчатого валика

Допуск припуска вычисляется по формуле 1:

$$Tz = z_{\max} - z_{\min}\,, \qquad (1)$$

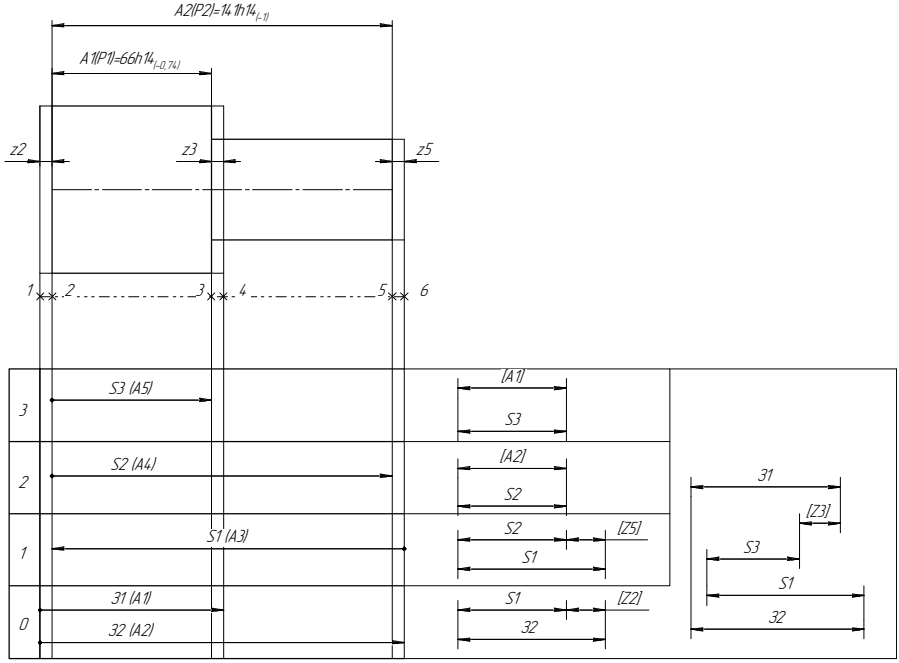

Рис. 2 Размерная схема технологического процесса

где Tz – допуск припуска; $z_{\max}$ – максимальное значение припуска; $z_{\min}$ – минимальное значение припуска, определяемое в зависимости от необходимой точности обработки поверхности. Для каждой размерной цепи выполняется условие 2

$$T_z = \sum_{i=1}^{m} T_i \,, \tag{2}$$

где T_i – допуска звеньев составляющих размерные цепи; m – количество звеньев размерной цепи. Подставим 1 в 2 и получим уравнение 3, которое легко можно преобразовать для использования в ИНС.

$$\left[\sum_{i=1}^{m} T_i - \left(z_{\max} - z_{\min} \right) \right] \to \min \tag{3}$$

В результате, для размерной цепи 1 на рисунке 2 можно предложить использовать нейрон с линейной функцией активации, структура которого отражена на рисунке 3.

Для расчета припусков с помощью ИНС размерная схема технологического процесса преобразовывается в ИНС (см. рис. 4), состоящую из двух слоев: слой, содержащий нейроны для каждой размерной цепи; слой, содержащий один нейрон, где суммируются значения всех аксонов нейронов предыдущего слоя.

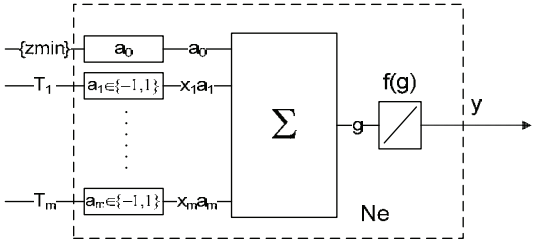

Рис. 3 Нейрон для расчета припусков

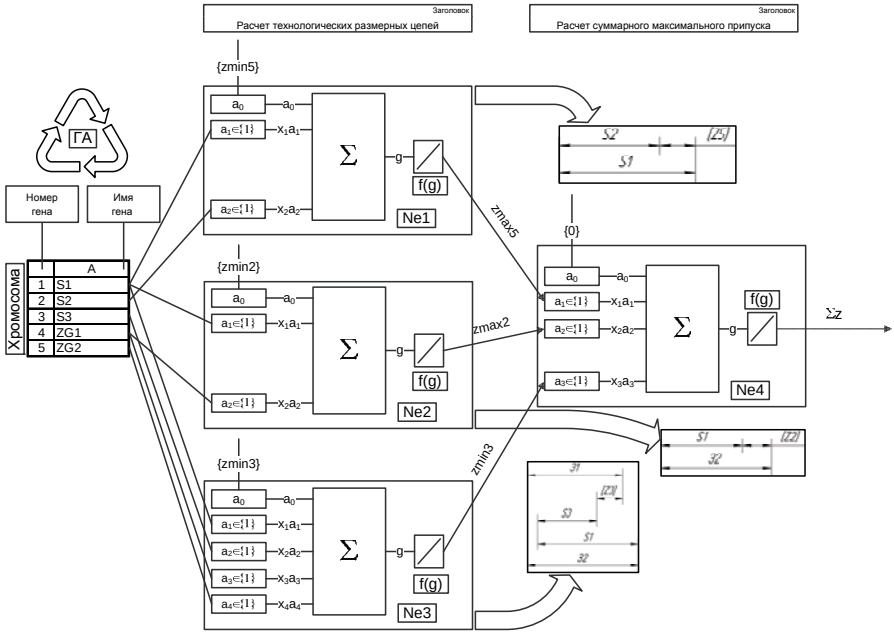

Рис. 4 ИНС для расчета технологических размерных цепей

На вход сети подается хромосома, состоящая из пяти генов, где значение каждого гена – допуск на размер соответствующей размерной цепи. Связи размерных цепей с отдельными нейронами (Ne1, Ne2, Ne3) первого слоя показаны стрелками на рисунке 4. Значения синапсов для каждого нейрона равны единице, поскольку данная сеть используется для подбора допусков, в противном случае значение синапса зависит от типа звена размерной цепи. Нейрон Ne4 во втором слое суммирует значения всех припусков на деталь. Таким образом, получаем целевую функцию, которая позволяет выполнить подбор допусков для каждого звена связанных размерных цепей. При формировании ИНС важно выявить зависимые звенья в наборе размерных цепей. Такая сеть может быть использована вместе с ГА в виде функции фитнесса. В зависимости от структуры хромосомы ИНС можно использовать в двух на-

правлениях. Первое – рекомендации по назначению допусков на составляющие звенья размерной цепи по операционным размерам с учетом точности обработки.

При этом предлагается вариант назначения допусков на размеры детали в зависимости от маршрута обработки. Второе – подбор допусков для межоперационных размеров при заданных значениях допусков размеров детали. На рисунке 4 изображена схема ИНС, соответствующая первому направлению. Для реализации второго направления хромосома должна содержать три гена (s1, zg1, zg2), которые определяются размерами, не зависящими от размеров детали (см. рис. 2). Количество входов сети, в этом случае, не изменяется, поскольку фиксированные допуска для s2 и s3 постоянно подаются на нужный вход нейрона.

ИНС реализуется с помощью Excel (см. рис. 5), где в виде функций пользователя добавлены алгоритмы, моделирующие нейроны с линейной функцией активации и нейроны с квадратичной функцией активации. Для формирования исходной модели проектирования разработана надстройка для Excel.

Функция фитнесса в виде ИНС

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	S1	0,8	S1	0,8	1	2,6	2,6	1	**9,6**
2	S2	0,3	S2	0,3	1	1,5	3	1	0
3	S3	0,6	S1	0,8	1	3	4	1	
4	ZG1	0,7	ZG1	0,7	1	1,5			
5	ZG2	0,4	S1	0,8	1	4			
6			S3	0,6	1	1,5			
7			ZG1	0,7	1				
8			ZG2	0,4	1				
9	Имя	**Гены**	Цепь	Входы	Веса	Аксон/Смещение	Входы	Веса	Аксон/Смещение

Программная реализация функции фитнесса и ограничений

Нейрон с линейной функцией активации =neuronl(B5:B8;C5:C8;D6;1)

Ограничения учитывающие особенности обработки

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0,8	1	S1	140	0,25	ИСТИНА	1	ИСТИНА	11	14	подрезание торца однократное
2	0,3		S2	140	0,25	ИСТИНА	1	ИСТИНА	11	14	подрезание торца однократное
3	0,5		S3	66	0,19	ИСТИНА	0,74	ИСТИНА	11	14	подрезание торца однократное
4	1		ZG1	66	0,74	ИСТИНА	3	ИСТИНА	14	17	заготовка
5	2		ZG2	140	1	ИСТИНА	4	ИСТИНА	14	17	заготовка
6				ИСТИНА		ИСТИНА		ИСТИНА			
7					min		max		min	max	метод обработки
8	ГЕНЫ	РЕЗУЛЬТАТ	ИМЯ	РАЗМЕР	УСЛОВИЯ				РАСШИФРОВКА		

Рис. 5 Программная реализация первого подхода

Здесь диапазон ячеек от B1 до B5 предназначен для ввода значений генов, которые генерируются ГА. Ячейки от D1 до D7 – входы ИНС, представленной на рисунке 4. Синаптические веса постоянны и вводятся в ячейки от E1 до E7. Начальное состояние каждого нейрона представляется в виде минимального припуска в ячейках F2, F4, F6. Функция активации нейронов располагается в ячейках F1, F3, F5. Второй слой сети реализуется в столбцах G – I. Ограничения, накладываемые методами обработки, записываются в специальный файл электронных таблиц. Для работы ГА формируется информационная модель комбинаторно – оптимизационного проектирования в формате XML (см. рис. 6). Модель состоит из двух разделов:

1. Генетический алгоритм (galgorithm)
2. Хромосома начального приближения (mcequipment).

```
<?xml version="1.0" ?>
- <model name="VAL001">
  - <galgorithm type="1" parall="1">
    - <properties>
      + <level num="1">
      </properties>
    - <fitness>
      - <level num="1" type="4">
          <file>GACMAIN.xls$NET$B1:B5$I1</file>
        </level>
      </fitness>
    - <limitations>
      - <level num="1" type="4">
          <file>LICMAIN.xls$LIM$A1:A5$B1</file>
        </level>
      </limitations>
    - <chromosome>
      - <level num="1">
        + <gene num="1" name="S1" max="12" min="1" lgen="4">
        + <gene num="2" name="S2" max="12" min="1" lgen="4">
        + <gene num="3" name="S3" max="12" min="1" lgen="4">
        + <gene num="4" name="ZG1" max="12" min="1" lgen="4">
        - <gene num="5" name="ZG2" max="12" min="1" lgen="4">
            <decode phenotype="1" value="0.018" type="2" />
            <decode phenotype="2" value="0.025" type="2" />
            <decode phenotype="3" value="0.04" type="2" />
            <decode phenotype="4" value="0.063" type="2" />
            <decode phenotype="5" value="0.1" type="2" />
            <decode phenotype="6" value="0.16" type="2" />
            <decode phenotype="7" value="0.25" type="2" />
            <decode phenotype="8" value="0.4" type="2" />
            <decode phenotype="9" value="0.63" type="2" />
            <decode phenotype="10" value="1" type="2" />
            <decode phenotype="11" value="1.6" type="2" />
            <decode phenotype="12" value="2.5" type="2" />
          </gene>
        </level>
      </chromosome>
    </galgorithm>
    <mcequipment />
  </model>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <rezults model="VAL001">
    <!-- Результаты оптимизации  -->
    <!-- Значения целевых функций:  -->
  - <yopt>
      <level num="1">8.32</level>
    </yopt>
    <!-- Значения переменных:  -->
  - <xopt>
    - <level num="1">
        <x num="1" val="0.25" />
        <x num="2" val="0.4" />
        <x num="3" val="0.19" />
        <x num="4" val="0.74" />
        <x num="5" val="1" />
      </level>
    </xopt>
    <!-- Статистика работы ГА:  -->
  + <averfitness>
  </rezults>
```


Рис. 6. Информационная модель комбинаторной оптимизации и результаты расчета

В первом разделе задаются:

1. Параметры генетического алгоритма (properties): граница, разделяющая начальный и конечный этапы алгоритма, взятая от величины эволюций в процентах; вероятность выполнения кроссовера; вероятность мутации; вероятность обновления популяции при стабилизации функции фитнесса; тип поиска алгоритма минимум или максимум; граничное количество эволюций; размер популяции; длина хромосомы в аллелях; длина хромосомы в генах; тип кроссовера; длина гена.

2. Ссылка на алгоритмическую модель функции фитнесса (fitness) в виде файла электронных таблиц и диапазона ячеек, где задаются значения генов (см. рис. 5).

3. Ссылка на алгоритмическую модель технических ограничений (limitations) в виде файла электронных таблиц с установленными ограничениями на изменения значений генов, исходя из методов обработки поверхностей (см. рис. 5);

4. Структура хромосом (chromosome) по уровням, где для каждого гена задается допустимое множество фенотипов в зависимости от разброса точности определяемого методами обработки.

Во втором – хромосома первого приближения по необходимости.

Вычисления производятся с помощью модуля «Генетический алгоритм», который реализован в виде надстройки Excel (см. рис. 7).

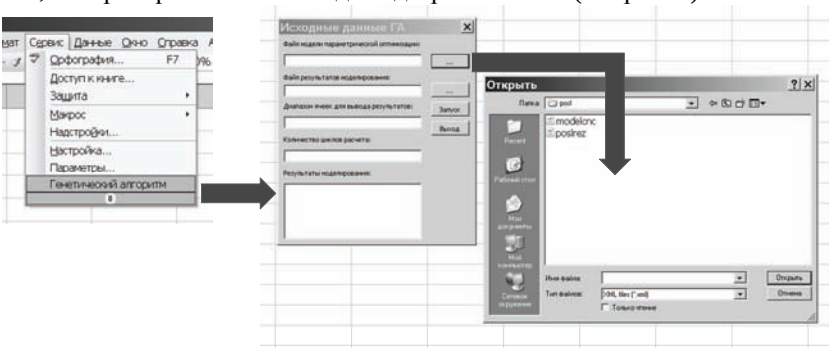

Рис. 7 Интерфейс работы с надстройкой «Генетический алгоритм»

Для оценки разброса значений ГА выполняем 50 последовательных расчетов. Результаты моделирования представлены на графике (см. рис. 8).

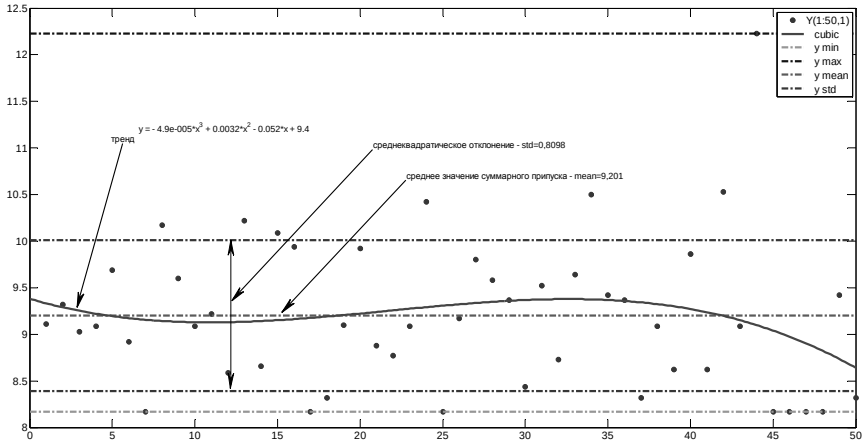

Рис. 8 Статистика расчетов по первому подходу

Разброс значений объясняется принципом работы ГА, основанном на концепции случайного поиска. Расчеты показывают, что глобальный минимум, для заданного маршрута обработки, находится между значениями суммарного максимального припуска от 8.5 до 10, если судить по среднеквадратическому отклонению.

При втором подходе подбираются допуска размеров S1, 31, 32 (см. рис. 2), поскольку остальные размеры являются независимыми и определяются из чертежа детали. Реализация и статистические данные второго подхода представлены на рисунках

Функция фитнесса в виде ИНС

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	S1	0,8	S1	0,8	1	3,3	3,3	1	**10,34**
2	ZG1	0,6	S2	1	1	1,5	2,9	1	0
3	ZG2	0,5	S1	0,8	1	2,9	4,14	1	
4			ZG1	0,6	1	1,5			
5			S1	0,8	1	4,14			
6			S3	0,74	1	1,5			
7			ZG1	0,6	1				
8			ZG2	0,5	1				
9	Имя	**Гены**	Цепь	Входы	Веса	Аксон/Смещение	Входы	Веса	Аксон/Смещение

Нейрон с линейной функцией активации =neuronl(B5:B8;C5:C8;D6;1)

Ограничения учитывающие особенности обработки

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0,8		S1	140	0,25	ИСТИНА	1	ИСТИНА	11	14	подрезание торца однократное
2	1		ZG1	66	0,74	ИСТИНА	3	ИСТИНА	14	17	заготовка
3	2		ZG2	140	1	ИСТИНА	4	ИСТИНА	14	17	заготовка
4				ИСТИНА		ИСТИНА		ИСТИНА			
5					min		max		min	max	метод обработки
6	ГЕНЫ	РЕЗУЛЬТАТ	ИМЯ	РАЗМЕР	УСЛОВИЯ				РАСШИФРОВКА		

Рис. 9 Программная реализация второго подхода

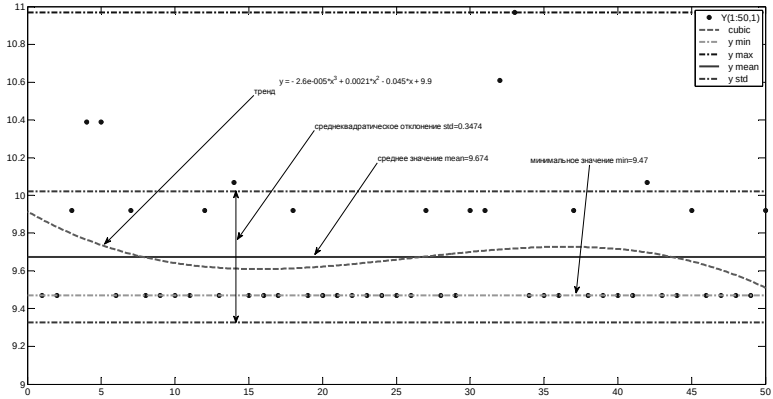

Рис. 10. Статистика вычислений по второму методу

Выводы: при использовании ИНС для решения комбинаторно – оптимизационной задачи расчета размерных технологических цепей используется принцип мягких вычислений, за счет которого решение будет получено при любом, даже очень плохом, сочетании допусков.

Список литературы: 1. Размерно – точностное проектирование технологических процессов обработки на основе расчета технологических размерных цепей. – 2-е изд., перераб. и доп. / С.Н. Корчак, В.И. Гузеев, Г.И. Буторин, В.Н. Выбойщик, В.Л. Кулыгин, В.Ю. Шамин; Под общ. ред. В.И. Гузеева. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 101с. **2.** BaseGroup Labs Технологии анализа данных. Мягкие вычисления. – Режим доступа: http://www.basegroup.ru/glossary/definitions/soft_computing/ **3.** В.В. Фролов, Г.Н. Жолткевич Методика расчета технологических размерных цепей с помощью искусственных нейронных сетей / В.В. Фролов, Г.Н. Жолткевич // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – №1,– С.96–100. **4.** В.В. Фролов Анализ и расчет размерных цепей деталей автотракторной техники на основе искусственных нейронных сетей / В.В. Фролов // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – Харків: ХНАДУ. – 2010. – №27,– С.104–109.

Поступила в редколлегию 20.06.2011